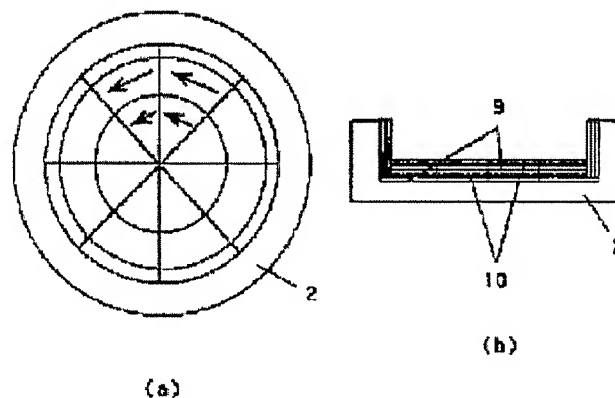


**PERMANENT MAGNET MAGNETIC CIRCUIT****Publication number:** JP8335511**Publication date:** 1996-12-17**Inventor:** OHASHI TAKESHI**Applicant:** SHINETSU CHEMICAL CO**Classification:****- international:** A61B5/055; H01F3/10; H01F7/02; A61B5/055;  
H01F3/00; H01F7/02; (IPC1-7): H01F7/02; A61B5/055;  
H01F3/10**- European:****Application number:** JP19950140974 19950608**Priority number(s):** JP19950140974 19950608[Report a data error here](#)**Abstract of JP8335511**

**PURPOSE:** To provide a permanent magnet magnetic circuit for a magnetic resonance imaging device (MRI device) which generates less eddy current due to the application of gradient magnetic field and is useful for generating bias magnetic field where gradient magnetic flux can easily pass in a nuclear magnetic resonance tomography device (MRI device). **CONSTITUTION:** In a permanent magnet opposite type magnetic circuit where a pair of magnets are opposed each other and a magnet-adjustment plate 2 is provided on a magnet space surface and they are connected by yoke to constitute a closed magnetic path. Then, the magnet-adjustment plate 2 is a lamination steel plate consisting of iron plate and silicon steel plate and the silicon steel plate is arranged on the surface of the magnet-adjustment plate facing the space and the silicon steel plate is laminated so that a diameter orientation directionality steel plate 9 and non-oriented steel plate or the diameter orientation directionality silicon steel plate 9 and a peripheral orientation directionality silicon steel plate 10 whose orientation direction is orientated in peripheral direction are mixed in thickness direction.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-335511

(43) 公開日 平成8年(1996)12月17日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F	7/02		H 0 1 F	7/02
A 6 1 B	5/055			3/10
H 0 1 F	3/10		A 6 1 B	5/05
				3 3 1

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-140974

(22) 出願日 平成7年(1995)6月8日

(71) 出願人 000002060

信越化学工業株式会社

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(72) 発明者 大橋 健

福井県武生市北府2丁目1番5号 信越化

学工業株式会社磁性材料研究所内

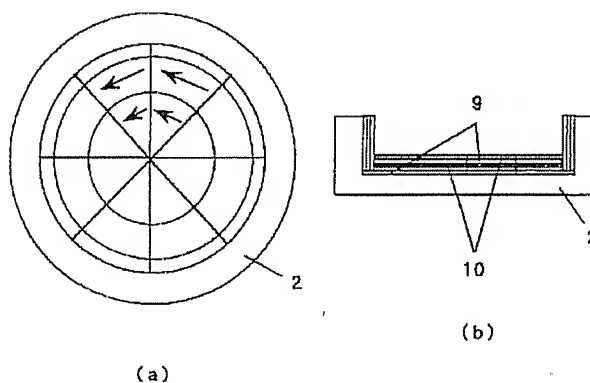
(74) 代理人 弁理士 山本 亮一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 永久磁石磁気回路

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 医療診断用の核磁気共鳴断層撮影装置 (MR I 装置) において、勾配磁場印加に伴う渦電流発生が少なく、勾配磁束が通り易いパイアス磁場発生に有用な核磁気共鳴断層撮影装置用永久磁石磁気回路を提供する。

【構成】 一対の磁石を対向させて磁石空隙表面に整磁板 2 を設け、これらを継鉄により結合して閉磁路を構成した永久磁石対向型磁気回路において、整磁板 2 が鉄板と珪素鋼板から成る積層鋼板であり、珪素鋼板は空隙に面した整磁板表面に配置され、珪素鋼板は配向方向が径方向に向いた径配向方向性鋼板 9 と無方向性鋼板とを、または径配向方向性珪素鋼板 9 と配向方向が周方向に向いた周配向方向性珪素鋼板 10 とを、厚み方向に混在するように積層されて成る永久磁石磁気回路。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一对の磁石を対向させて該磁石空隙表面に整磁板を設け、これらを継鉄により結合して閉磁路を構成した永久磁石対向型磁気回路において、該整磁板が鉄板と珪素鋼板から成る積層鋼板であり、該珪素鋼板は空隙に面した整磁板表面に配置され、該珪素鋼板は配向方向が径方向に向いた径配向方向性珪素鋼板と無方向性珪素鋼板とを、または該径配向方向性珪素鋼板と配向方向が周方向に向いた周配向方向性珪素鋼板とを、厚み方向に混在するように積層されて成ることを特徴とする永久磁石磁気回路。

【請求項2】 請求項1記載の積層珪素鋼板は、勾配磁束を通すのに十分な厚みを有し、周方向に4分割以上かつ径方向に2分割以上分割され、個々の珪素鋼板は隣接珪素鋼板と電氣的に絶縁されていることを特徴とする永久磁石磁気回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、医療診断用の核磁気共鳴断層撮影装置（以下、MRI装置という）において、勾配磁場印加に伴う渦電流発生が少なく、勾配磁束が通り易いバイアス磁場発生に有用な核磁気共鳴断層撮影装置用永久磁石磁気回路である。

## 【0002】

【従来の技術】 磁気共鳴断層装置に使用するマグネットとして、磁石対向型永久磁石磁気回路はよく知られている。例えば、W.H.Oldendorf; WO 84/00611 (PCT/US83/01175)、実公平2-44483号、実公平2-44484号、実公平2-44485号、実公平2-44486号各公報、映像情報15巻 p.379(1983)および病態生理4巻 p.91(1985) などがある。該磁気回路は空隙に磁石を対向させただけでは空隙中心に十分な磁場均一性が得られない。このため空隙中に発生する磁場強度は少し低下するが、図6に示したように空隙に面した磁石表面に整磁板と呼ばれる鉄板を貼って磁場均一性を向上させている。この整磁板形状には磁場の均一性を向上させる様々な工夫がされている。例えば、整磁板外周部に環状突起を設けることは空隙中心部の磁場を向上（磁場均一性は空隙中心に仮想的に設けられた球空間の磁場分布で評価される）させ、極と赤道部の磁場の不均一性を緩和する。更に整磁板表面に環状突起よりもっと小さい環状段差を設けることも行われており、均一球（例えば40cm直径の球空間）内の磁場均一性として例えば2000Gの発生磁場に対して50ppm以下の磁場均一度が得られている。このように永久磁石対向型磁気回路において整磁板は磁場均一性向上のため必要不可欠な部材である。

【0003】 一方、MRI装置においては、位置情報を得るためにソレノイドコイルに通電して該磁気回路空隙空間内に勾配磁場を発生させる。該勾配磁場は永久磁石の発生するバイアス磁場に重畳されて、水素原子核の核

磁気共鳴（NMR）周波数を場所により変化させる。MRI装置における勾配磁場の役割は単にこれだけではないが、時間軸に対して矩形状のパルス磁場を印加することが本質的に必要である。磁石対向型磁気回路において、勾配コイルは整磁板表面に図1のように設置されるのが一般的である。該勾配コイルにパルス矩形波状の勾配磁場を印加した場合、勾配コイルと整磁板は近接しているため整磁板には勾配磁場を打ち消す方向に渦電流が流れる。該渦電流はパルス勾配磁場波形（矩形波）の立ち上がりや鈍らせ、立ち下りの裾を引かせるように働く（図5参照）。このことはMRI装置において画像を得る上で非常に有害であり、勾配磁場印加における整磁板の渦電流の発生をできるだけ低減する事が望ましい。

【0004】 該渦電流低減のためには種々のハイブリッド構造の整磁板が考案されており、一般的にはベース鉄板と軟磁性層の組み合わせが用いられる。例えば、特開昭63-241905号、特開平1-304709号、特開平2-2603号、特開平2-184002号、特開平2-218343号、特開平3-203203号、特開平4-82536号、特開平4-138131号、特開平5-182821号などの各公報が開示されている。勾配コイルに面する整磁板表面の材質に要求される特性は、磁氣的に透磁率が高く、保磁力が低い軟質磁性で、かつ電気抵抗の高いことであり、これを構造的に保持するためバルク鉄板がベースとして使用されている。このような整磁板表面の材質に要求される特性の内、前者は均一磁場を得るために必要であり、後者は渦電流を抑制するために必要である。このような要求を満たす軟質磁性素材としては、軟磁性フェライト（MnZnフェライト、NiZnフェライトなど）、アモルファス薄帯、珪素鋼板、パーマロイ、純鉄などがある。後4者はバルク状態では電気抵抗が高くないので薄板形状を積層する必要がある。また電気抵抗をできるだけ高くするため薄板間は絶縁処理することが望ましい。この他、鉄粉を樹脂とともに圧粉成形した樹脂鉄も高電気抵抗と軟磁気特性を有するため使用可能である。これらの軟質磁性素材の中では、バルク状態で電気抵抗が非常に高く、透磁率も高いフェライトが磁気特性的に好ましい。しかしフェライトはセラミックスであるから元々脆く、バイアス磁場中に設置されるため常に磁場方向にフェライトの長手方向が配向するような力を受ける。このため整磁板ベースへの固着方法が難しく、割れやクラックが発生する危険性がつきまとう。また、粉末焼結法により作製する焼き物であるため、大型ブロックを作製することは寸法精度や加工の面から難しい。また純鉄積層や樹脂鉄は軟磁気特性の面から他の素材ほど良くない。さらにパーマロイは非常に優れた軟磁気特性を有するが、非常に高価でかつ応力などによる磁気特性の劣化が生じ易いため使いにくい。

【0005】 これに対し、珪素鋼板は軟磁気特性が良好で、打ち抜きなどで大型の薄板加工も容易であり、モータなどに大量に使用されているため廉価であり該整磁板

のハイブリッド素材として適している。珪素鋼板には無方向性と方向性の2種類があり、方向性珪素鋼板の方が磁気特性は良好であるが使用は難しい。勾配磁場はX、Y、Zの3方向に印加されるので、方向性珪素鋼板ではX、Y、Z勾配磁場3方向に対して磁束の流れる方向全てを満足するように方向性珪素鋼板の配向を配置することが困難である。方向性珪素鋼板を容易軸が2方向になるように積層することも提案（特開平4-138131号参照）されているが、X、Y、Z3方向の勾配磁束の流れを満足する積層構造ではなく、無方向性珪素鋼板を積層するのが一般的である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従って磁石対向型永久磁石磁気回路の整磁板として、従来のものよりも更に渦電流の発生が少なく、勾配磁束が流れ易く、製作の容易な整磁板構造が望まれている。本発明はかかる課題を解決し、X、Y、Zの勾配磁束が流れ易く、渦電流発生の少ない整磁板構造を提供してMRI装置の画質向上を図ろうとするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者等は磁石対向型永久磁石磁気回路で、勾配磁束が流れ易く、渦電流発生の少ない、珪素鋼板と鉄板のハイブリッド構造の整磁板を開発し、諸条件を確立して本発明を完成したもので、その要旨は、一対の磁石を対向させて該磁石空隙表面に整磁板を設け、これらを継鉄により結合して閉磁路を構成した永久磁石対向型磁気回路において、該整磁板が鉄板と珪素鋼板から成る積層鋼板であり、該珪素鋼板は空隙に面した整磁板表面に配置され、該珪素鋼板は配向方向が径方向に向いた径配向方向性珪素鋼板と無方向性珪素鋼板とを、または該径配向方向性珪素鋼板と配向方向が周方向に向いた周配向方向性珪素鋼板とを、厚み方向に混在するように積層されて成ることを特徴とする永久磁石磁気回路にあり、更に詳しくは、該積層珪素鋼板は、勾配磁束を通すのに十分な厚みを有し、周方向に4分割以上かつ径方向に2分割以上分割され、個々の珪素鋼板は隣接珪素鋼板と電気的に絶縁されている永久磁石磁気回路にある。

【0008】以下、本発明を詳細に説明する。既に述べたように方向性珪素鋼板の径方向配向したものの積層は、Z勾配磁場に対して軟磁気特性は優れているが、X、Y勾配磁場に対しては磁束を通しにくいという問題があった。一方、無方向性珪素鋼板の積層は、X、Y、Z勾配磁場に対応できるが、軟磁気特性が方向性珪素鋼板より劣っている。そこで鉄板-珪素鋼板からなるハイブリッド整磁板を改良するため、Z勾配磁場に対して径配向の方向性珪素鋼板を採用し、X、Y勾配磁場に対して無方向性珪素鋼板か周配向の方向性珪素鋼板を採用することとした。Z勾配磁場に対応する珪素鋼板の配置は、図2(a)に示したように径方向に分割され、各珪

素鋼板セグメントは疑似径方向に配向したものを組み合わせて円板状とし、容易磁化方向を径方向配向とした。勾配コイルにより発生したZ勾配磁束は、整磁板のギャップ側底面を通過して外周の環状突起を経由して元に戻る。このため、整磁板底面でのZ勾配磁束は環状突起に向かって径方向に流れるため、径配向方向性珪素鋼板を採用する。これにより径方向に磁束が流れ易いので、Z勾配磁場印加に伴う渦電流発生や、整磁板に起因する残留磁化の変化が低減される。一方、X、Y勾配磁場に対応する無方向性珪素鋼板または周配向方向性珪素鋼板の分割は、径方向性珪素鋼板と同じで円板状にする。例えば、X勾配コイルは図4(a)のような形状をしており、図4(b)のようにX方向に勾配磁束が流れる。X勾配磁束の流れる周方向に、方向性珪素鋼板を配置するか、無方向性珪素鋼板を用いる。後者の場合、配向を考慮する必要はない。周配向の方向性珪素鋼板と無方向性珪素鋼板で、勾配磁束の通り易さは同等である。何故なら、周配向は必ずしもX勾配磁束の最適導磁方向と一致していないためである。従って、X、Y勾配磁場に対して、どちらを採用してもよい。

【0009】方向性と無方向性珪素鋼板の積層は、1枚ずつ交互に、複数同数枚毎交互に、或は異数枚毎交互に積層してもよいが、整磁板の厚み方向に混合していることが好ましく、少なくとも4組以上、好ましくは6組以上が良い。勾配磁束は、整磁板表面の磁束が流れ易い所（透磁率の高い所）を流れるため、例えば上半分が方向性で下半分が無方向性のような（もしくはその逆）1組の交互積層は好ましくない。何故なら、このような積層ではX、Y勾配磁束は環状突起部を流れる可能性があり、勾配磁場の線形性が乱されるからである。この場合用いる珪素鋼板厚みは0.1mm～1mmの間のものでよい。

【0010】渦電流を抑制するため、珪素鋼板は径方向と周方向に分割する必要がある。周方向には4分割以上が必要で、好ましくは6分割以上〔図3(a)参照〕である。径方向には更に渦電流低減のため2分割以上の分割が好ましい。各珪素鋼板セグメントは積層方向（厚み方向）の表面は絶縁処理されており、渦電流が流れたとしても整磁板面内に制限される。また、隣接セグメント間も絶縁処理されていることが望ましく、整磁板面内周方向に流れる渦電流を抑制できる。該珪素鋼板の表面絶縁処理と分割により、渦電流の強度を大幅に低減できる。

【0011】本発明において整磁板の環状突起および勾配コイルの設計条件については従来公知の技術を適応することができる。

【0012】

【実施例】以下、本発明の実施態様を実施例を挙げて具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

（実施例）中心磁場が2,000Gの磁石対向型磁気回路で、

径1,000mmの整磁板を使用した。整磁板厚み60mmの内表層部30mmが珪素鋼板で、残り30mmがベース鉄板である。表層部珪素鋼板は周方向が8分割、径方向が4分割されており、厚み0.5mmの珪素鋼板を積層した。径配向方向性珪素鋼板5枚(2.5mm)と無方向性珪素鋼板5枚(2.5mm)を交互に厚み方向に積層して6組(30mm)で表層部を形成した。この整磁板にX方向とZ方向に夫々1G/cmに相当する矩形波状勾配磁場(立ち上がり1msec、パルス幅5msec、上下の勾配コイルに同じ方向の磁場)を印加して、均一磁場空間の磁場変化を測定したところ、その変化の割合は、中心で20ppmであった。

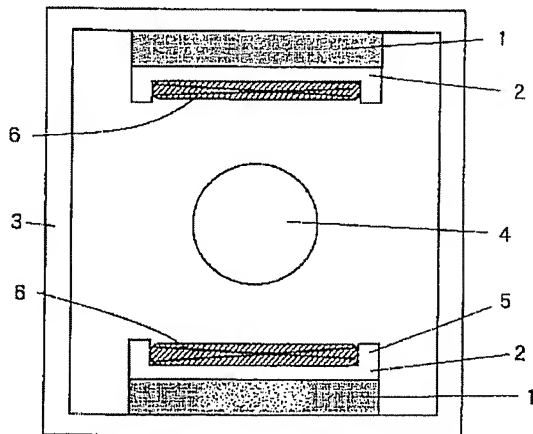
【0013】(比較例)無方向性珪素鋼板のみで表層部を形成した整磁板に、実施例と同じ磁場を印加してその変化率を測定したところ56ppmであった。以上の結果から、方向性珪素鋼板と無方向性珪素鋼板を併用することにより、渦電流が抑制され磁束が通り易くなったため、均一空間の磁場変化が小さくなることがわかった。

#### 【0014】

【発明の効果】本発明によれば、勾配磁場に対する整磁板表面の軟磁気特性と、渦電流低減を両立させることができ、勾配磁場による整磁板の残留磁化変化の少ない磁石対向型磁気回路が実現でき、核磁気共鳴断層撮影装置の画質向上に効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】



【図1】本発明の磁石対向型磁気回路における整磁板および勾配コイルの配置を示す縦断面図である。

【図2】本発明の整磁板の一例を示す(a)平面図、(b)縦断面図である。

【図3】本発明の整磁板の別の例を示す(a)平面図、(b)縦断面図である。

【図4】本発明の整磁板内における(a)勾配コイル形状を示す平面図と(b)勾配磁束の流れを示す縦断面図である(X方向勾配コイルを表し、Y、Z方向勾配コイルは省略した)。

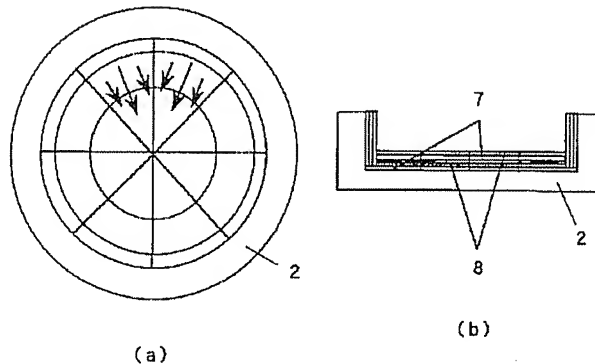
【図5】勾配磁場と渦電流の関係を表した説明図である。

【図6】従来の磁石対向型磁気回路を示す斜視図である。

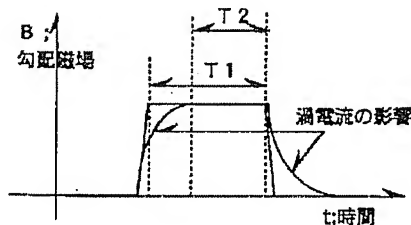
#### 【符号の説明】

1	永久磁石	2	整磁板
3	鉄ヨーク	4	磁場空間
5	環状突起	6	勾配コイル
7	無方向性珪素鋼板	8	方向性珪素鋼板
9	径配向方向性珪素鋼板	10	周配向方向性珪素鋼板
11	X勾配コイル	→	磁束配向方向

【図2】

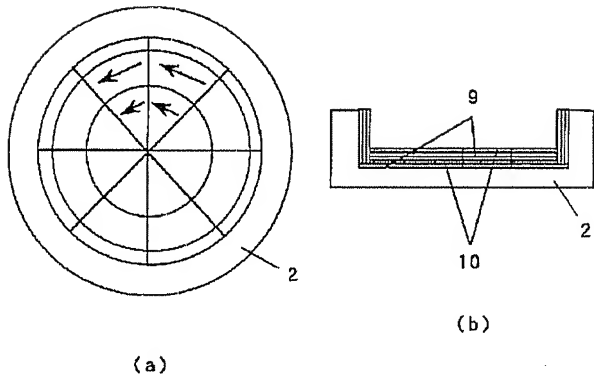


【図5】

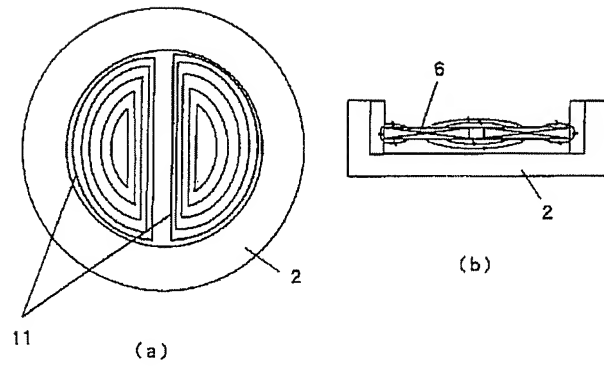


勾配磁場と渦電流の影響 ( $T_1 > T_2$ )

【図3】



【図4】



【図6】

